

MAGNETIC LEVITATION SYSTEM MENGGUNAKAN METODE PID BERBASIS MIKROKONTROLER UNIVERSITAS TELKOM

(MAGNETIC LEVITATION SYSTEM USING A PID-BASED METHOD OF MICROCONTROLLER) TELKOM UNIVERSITY

Agung Tri Sutrisno¹, M.Sarwoko, Ir.,M.Sc.², Ekki Kurniawan, S.T.,MT³

^{1,2}Prodi S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik Elektro, Universitas
Telkom

¹ agunghardhinata@students.telkomuniversity.ac.id ² M.sarwoko@telkomuniversity.ac.id,

³ ekki.kurniawan@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Perkembangan teknologi sistem kontrol dewasa ini menuju penerapan teknologi elektromagnetik, yaitu kontrol magnet yang dapat melayang benda. Pembuatan alat ini menggunakan sensor *hall effect* sebagai *feedback* dari sistem. Dengan menggunakan sensor *hall effect* ini alat magnetic levitation yang dapat melayangkan benda dengan melawan gaya gravitasi. Metode yang digunakan dalam pembuatan alat ini dengan menggunakan kontrol PID sebagai pengontrol benda agar dapat melayang dengan stabil. Karena kontrol PID sendiri dapat meminimalisir error, meminimalisir error *steady-state* dan memperbaiki respon. Dengan *trial and error* didapatkan nilai $K_p = 11000$, $K_i = 4000$ dan $K_d = 6000$. Dilakukan beberapa pengujian berdasarkan tegangan keluaran sensor terhadap jarak, arus kumparan terhadap jarak dan percobaan respon sistem. Hasil pengujian keseluruhan, sistem tersebut mempunyai tingkat keberhasilan 92%. Oleh karena itu sistem dapat dimanfaatkan sebagai langkah awal dalam pembuatan alat yang berhubungan dengan *magnetic levitation system*.

Kata kunci : *magnetic levitation, PID, hall effect.*

Abstract

The development of technology control system nowadays towards the application of electromagnetic technology namely the control magnet which can levitate objects. The creation of this tools using hall effect sensor As feedback from the system. Using the hall effect sensor is magnetic levitation tools that can cast objects against the force gravity. The methods use making of these tools using a PID controller as a control object to be able to levitate stably. Because the control PID can minimize errors, minimize error of steady-state response and fix it. By trial and error it brings value $K_p = 11000$, $K_i = 4000$ and $K_d = 6000$. Done some testing based on terhadap sensor output voltage range, the coil current against distance and experiment system response. The overall test results, the system has a success rate of 92%. Therefore the system can be utilized as the initial step in the making of tools related to the magnetic levitation system.

Keywords: *magnetic levitation, PID, hall effect.*

1. Pendahuluan

Magnetic levitation merupakan alat yang dapat melayangkan benda. Alat tersebut menyeimbangkan antara gaya tarik magnet yang berasal dari kumparan dan gaya gravitasi bumi. Dalam kegiatan sehari-hari dalam bidang akademik maupun laboratorium baru sedikit yang mempelajari tentang magnetic levitation. Walaupun riset – riset di luar negeri sudah lebih dulu mengagaskan riset yang memanfaatkan medan magnet ini seharusnya lebih

memacu generasi muda untuk mempelajari magnetic levitation ini selain keuntungannya sebagai alat pembelajaran, alat ini juga bisa sebagai pondasi untuk membuat alat-alat yang mempunyai karakteristik pemanfaatan elektromagnetik. sebagai contoh kereta *shinkansen* yang ada di Jepang. mungkin akan muncul pemikiran baru dan yang lebih dari itu.

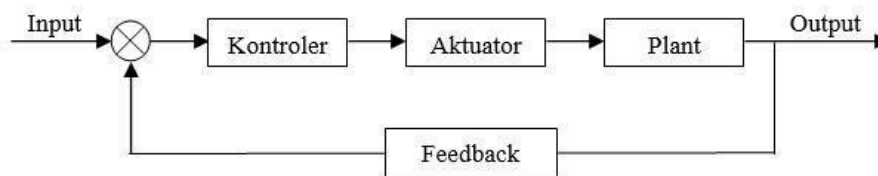
Untuk kedepannya elektromagnetik akan terus berkembang diperkirakan sekitar 30-50 tahun lagi akan muncul mobil yang jalan tanpa menggunakan roda, namun bisa terbang dengan menggunakan lintasan yang terbuat dari magnet. dan dampaknya sangat positif karena tidak menggunakan bahan bakar dan ramah lingkungan.

Pada tugas akhir ini penulis melihat fenomena pelayangan benda melalui pengontrolan kuat medan magnet elektrik serta rentang kestabilan tinggi benda yang dilayangkan. Dengan menanamkan algoritma PID pada perangkat diharapkan benda dapat melayang dengan stabil.

2. Dasar Teori

2.1 Sistem Kendali

Sistem kendali adalah proses pengendalian terhadap satu atau beberapa besaran sehingga berada pada suatu kondisi tertentu yang menjadi target atau acuan. Parameter yang mempengaruhi kerja sistem kendali, yaitu: pengukuran, membandingkan, perhitungan, dan perbaikan. Dalam sistem kendali ada dua jenis yaitu kendali *open loop* dan kendali *close loop*. Perbedaan antar kedua kendali tersebut yaitu blok umpan balik (*feedback*). Sistem kendali *open loop* tidak memiliki blok *feedback* namun *close loop* memiliki blok *feedback*, sehingga dapat mengetahui output sistem. Pada sistem kendali *close loop* sinyal error dapat diketahui dari perbedaan antara sinyal input dengan sinyal *feedback*, dimana kontroler akan mengurangi error dan akan memberikan output sistem sesuai yang diinginkan (input)^[1].



Gambar 2.2 Gambar diagram blok sistem

2.2 Pengertian Magnet

Magnet adalah benda yang mampu menarik benda – benda disekitarnya. Setiap Magnet memiliki sifat kemagnetan. Kemagnetan adalah kemampuan benda tersebut untuk menarik benda-benda lain disekitarnya. Magnet dapat menarik benda lain, beberapa benda bahkan tertarik lebih kuat dari yang lain, yaitu bahan logam. Namun tidak semua logam mempunyai daya tarik yang sama terhadap magnet. Besi dan baja adalah dua contoh materi yang mempunyai daya tarik yang tinggi oleh magnet. Sedangkan oksigen cair adalah contoh materi yang mempunyai daya tarik yang rendah oleh magnet. Satuan intensitas magnet menurut sistem metrik Satuan Internasional (SI) adalah Tesla dan SI unit untuk total fluks magnetik adalah weber ($1 \text{ weber/m}^2 = 1 \text{ tesla}$) yang mempengaruhi luasan satu meter persegi^[2].

2.3 Medan Magnet

Medan magnet terdiri dari garis-garis fluks imajiner yang berasal dari partikel bermuatan listrik yang bergerak atau berputar. Contohnya partikel proton yang berputar dan pergerakan elektron yang mengalir pada kawat dalam bentuk sirkuit elektronik^[3].

2.4 Hall Effect Ugn3505U

Sensor medan magnet atau sensor efek hall dirancang untuk memberikan tanggapan terhadap intensitas medan magnet yang ada di sekitarnya. Sensor ini memiliki tiga buah terminal. Apabila tidak terdapat medan magnet di dekatnya, tegangan output yang dihasilkan piranti ini besarnya setengah dari tegangan catu daya. Apabila kutub selatan sebuah magnet berada di dekat sensor, tegangan output akan naik. Besarnya kenaikan tegangan ini sebanding dengan kekuatan medan yang dihasilkan magnet tersebut. Apabila kutub utara sebuah magnet berada di dekat sensor, tegangan output akan jatuh.^[6]

Sensor UGN3503 memiliki keunggulan dalam hal kemampuannya mengubah status atau keadaan, secara jauh lebih cepat dari sensor-sensor mekanik, dan sensor ini juga membutuhkan gaya yang lebih kecil untuk pengoperasiannya. Sensor tersebut juga dapat beroperasi pada kecepatan tinggi (*high speed switching*), melakukan penyambungan dan pemutusan sebanyak ribuan kali dalam satu detik.^[6]

2.5 PID

Kontrol PID (*proporsional, Integral, derivative*) merupakan kontroler untuk menentukan presisi suatu sistem pada suatu alat dengan karakteristik harus memiliki *feedback* dari sistem tersebut. Komponen kontrol PID ini terdiri dari 3 jenis yaitu *proporsional, integral, dan derivative*. Ketiganya dapat dipakai bersamaan maupun sendiri sendiri tergantung respon yang diinginkan dari suatu alat.

Kontrol *proporsional* digunakan sebagai penguat. kontrol *proporsional* hanya mengurangi *error* saja, tetapi tidak menghilangkan *error* yang ada, sehingga kontrol P dapat untuk memperbaiki respon transien khususnya *rise time* dan *settling time*.

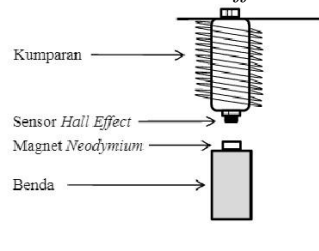
Kontrol *Integral* dapat memperbaiki sekaligus menghilangkan *error steady state* karena kontrol *Integral* mempunyai *output* yang tingkat perubahannya sebanding terhadap perubahan *error*. pemilihan nilai K_i yang tidak tepat pada kontrol *Integral* dapat menyebabkan respon transien yang tinggi sehingga dapat menyebabkan ketidak stabilan pada sistem. pemilihan sistem K_i yang sangat tinggi dapat menyebabkan *output* berosilasi karena menambah orde sistem.

Kontrol *derivative* digunakan untuk memperbaiki respon. *Output* kontrol *derivative* adalah sebanding dengan perubahan *error*. kontrol *derivative* akan memberikan respon ketika ada perubahan *error*, jika terjadi *error* yang besar tetapi konstan maka kontrol ini tidak dapat memberikan respon. penggunaan kontrol *derivative* tidak dapat secara sendiri sehingga harus digabungkan dengan kontrol lain untuk mendapatkan respon dari *error* yang terjadi pada sistem.

3. Perancangan Sistem

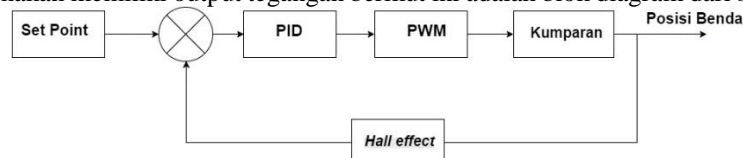
3.1 Perancangan Secara Umum

Magnetic levitation memiliki beberapa bagian yaitu kumparan sebagai elektromagnetik, sensor *hall effect* untuk membaca adanya medan magnet yang mendekat, sehingga membuat kondisi benda melayang berdasarkan *hall effect* yang sudah ditentukan dari hasil pembacaan sensor *hall effect*.



Gambar 3.1 Gambar Sistem *magnetic Levitation*

Secara umum, sistem ini bertujuan agar benda melayang tidak jatuh karena gaya tarik bumi dan tidak menempel pada kumparan karena gaya tarik magnet yang ditimbulkan oleh elektromagnetik. Dengan menggunakan kontrol PID dengan *input* dari hasil penjumlahan *hall effect* dengan output sensor. Sensor *hall effect* UGN3503 yang digunakan memiliki output tegangan berikut ini adalah blok diagram dari sistem.



Gambar 3.2 Gambar Diagram blok sistem

Sistem ini dapat membuat benda melayang dengan stabil, tidak jatuh kebawah karena gaya gravitasi. Untuk mendeteksi benda, sensor *hall effect* digunakan sebagai *feedback* pada gambar diatas merupakan diagram blok dari sistem, sensor *hall effect* mendapat gangguan dari medan magnet kumparan dan magnet *neodymium* yang menempel pada benda.

3.2 Perancangan Hardware

Hardware yang dipakai dalam tugas akhir ini terdiri dari beberapa bagian yaitu rangkaian *power supply*, kumparan, rangkaian mosfet sebagai *switch*, rangkaian sensor *hall effect*.

3.3.1 Rangkaian Power supply

power supply digunakan untuk memberikan daya kepada sistem. Sistem ini membutuhkan sumber tegangan 5V-12V Untuk dapat memenuhi keperluan tegangan yang dibutuhkan, maka penggunaan universal adaptor untuk meregulasi tegangan menjadi yang diinginkan. Oleh karena itu penulis membuat variasi tegangan untuk pengujian alat.

3.3.2 Pembuatan kumparan

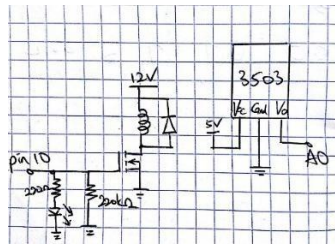
Pembuatan kumparan sebagai *elektromagnet* penulis membuat kumparan tersebut dengan selongsong plastik dan yang diameter 1-2 cm dan inti besi dengan panjang 13cm , namun inti besi yang masuk dalam selongsong plastik hanyalah 8cm ,sisa inti besi tersebut akan digunakan untuk menempelkan pada kayu setinggi 30cm sebagai penyangga kumparan. Berikut gambar selongsong plastik , kayu penyangga dan kumparan.



Gambar 3.3 Gambar kumparan dan inti besi

3.3.3 Mosfet sebagai switch

Dalam pembuatan alat ini penulis membuat *Switch* dengan menggunakan mosfet irfz44n untuk mengendalikan arus yang akan melewati kumparan . mosfet tersebut menggunakan prinsip kerja PWM (*Pulse Width Modulation*) untuk mengatur arus rata-rata yang akan dilewatkan pada kumparan. Ketika sensor membaca ada objek yang akan dilayangkan maka *switch* akan *on/off* sesuai *setpoint* yang ditentukan . berikut gambar rangkaiannya .



Gambar 3.4 Gambar Rangkaian Mosfet

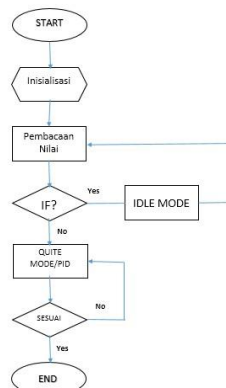
3.3.4 Sensor Hall Effect

Agar sistem dapat berjalan dengan baik yaitu dengan melayangkan benda yang di tempel dengan permanen magnet *neodymium* maka dibutuhkan sensor yang dapat membaca gaya magnet. Sensor yang digunakan untuk mendeteksi gaya magnet tersebut adalah UGN3503. *Outputs* sensor *hall effect* adalah tegangan. Untuk mengetahui jarak sensor dengan benda yang telah ditempel oleh magnet *neodymium* , cara pemasangan sensor tersebut adalah dibawah kumparan agar dapat membaca objek yang di tempel magnet dengan nilai yang presisi.

3.3 Perancangan dan realisasi perangkat lunak

3.3.1 Perancangan Software Pada arduino

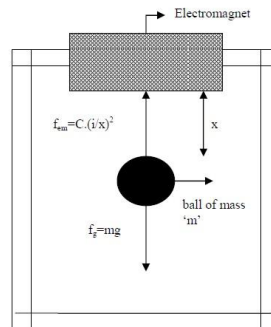
Pada perancangan software arduino menggunakan bahasa C . Pada perancangan software ini penulis mendefinisikan nilai *ki,kp,kd* secara *trial and error* jadi bisa di ubah agar nantinya dapat menjadi nilai untuk pengujian sistem. Berikut flowchart pemrogramannya :



Gambar 3.5 Gambar flowchart perancangan software

3.3.2 Pemodelan Matematika

Pemodelan matematika ini digunakan sebagai perbandingan antara perhitungan secara teoritis dan pengujian. Dengan menggunakan permodelan maka penulis dapat menuliskan pengaruh gaya elektromagnet. energi yang ada pada induktor. penurunan dengan metode ini juga dapat di asumsikan medan magnet sangat ideal dan induktansi kumparan bervariasi secara linier dengan jarak antara objek dengan selenoida^[10]. Hubungan antara gaya elektromagnetik dapat digambarkan sebagai berikut :



Gambar 3.5 Gambar permodelan system

a. Sistem elektrik magnetik

Pemodelan skema kerja dalam selenoid dapat ditunjukkan pada gambar 3.9 hal ini menunjukkan hubungan antara Gaya magnetik yang di hasilkan oleh arus dari hukum kirchoff tegangan :

$$u = V_R + V_L = iR + L \frac{di}{dt}$$

Dimana, u : sumber tegangan, i : arus pada coil, R : resistansi pada coil, L : induktansi pada coil

b. Sistem Mekanik magnetik

Pada Gambar 3.9 di tunjukan bahwa objek pelayangan dipengaruhi oleh gaya elektromagnetik dan gaya gravitasi. Gaya pelayangan benda di dapat dari dua gaya tersebut dengan pengurangan gaya gravitasi dengan gaya elektromagnet :

$$F = F_{em} - F_g$$

$$F_{em} = C \cdot i^2 - \frac{L}{x} \left(\frac{di}{dt} \right)^2$$

Dimana,, m : massa benda, x : posisi benda, g : gravitasi, C : konstanta magnetik

c. Non-linier Model

Berdasarkan model nonlinier elektro-mekanik dari sistem pelayangan benda dapat dijabarkan dengan persamaan berikut :

$$F = \frac{L}{x} i^2 - mg \quad (3.1)$$

$$F = \frac{L}{x} i^2 - mg \quad (3.2)$$

$$F = \frac{L}{x} i^2 - mg \quad (3.3)$$

Persamaan (2) menunjukkan bahwa $\frac{L}{x}$ adalah fungsi nonlinier dari posisi benda x ^{[16][15]}. Memiliki pendekatan yang menentukan induktansi pelayangan benda pada sistem. Pendekatan induktansi berkebalikan dengan posisi benda yaitu :

$$\frac{L}{x} = L + \frac{L_0}{x} \quad (3.4)$$

Dimana L adalah konstanta induktansi coil saat tidak ada benda yang di layangkan, L_0 adalah induktansi coil saat da benda yang di layangkan.

$$F = \left(L + \frac{L_0}{x} \right) i^2 - mg$$

$$F = L i^2 + \frac{L_0 i^2}{x} - mg$$

Substitusi $L_0 = 2L$ maka

$$F = L i^2 + \frac{2L i^2}{x} - mg \quad (3.5)$$



d. Vektor format

Misalkan $\vec{r} = [r_x, r_y, r_z]^T$, maka persamaan (3.1), (3.3) dan (3.5) dinyatakan dalam format vektor yang mana posisi benda sebagai output, berikut vektornya :

$$\vec{r} = \begin{bmatrix} r_x \\ r_y \\ r_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{L}{3} \left(\frac{r_z}{L} \right)^2 + \frac{2L}{3} \left(\frac{r_z}{L} \right) \\ \frac{L}{3} \left(\frac{r_z}{L} \right)^2 + \frac{2L}{3} \left(\frac{r_z}{L} \right) \\ \frac{L}{3} \left(\frac{r_z}{L} \right)^2 + \frac{2L}{3} \left(\frac{r_z}{L} \right) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\vec{r} = [r_x, r_y, r_z]^T = [1 \ 0 \ 0]^T$$

$$\vec{r} = \vec{r}_1 + \vec{r}_2 + \vec{r}_3$$

e. linear model

Sistem linier berada di titik $\vec{r} = \vec{r}_1$, memiliki hasil vektor berikut :

$$\vec{r} = [\vec{r}_1, \vec{r}_2, \vec{r}_3]^T$$

Keseimbangan, persamaan turunan dari x harus sama dengan 0 yaitu $\dot{r}_2 = 0$. Keseimbangan juga dapat di perbaiki dari persamaan (3) dan harus memenuhi kondisi berikut :

$$\vec{r}_3 = \vec{r}_1 \sqrt{\frac{gm}{L}}$$

Dengan demikian dapat model linier dapat ditulis :

$$\vec{r} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -2 \frac{L}{m} \frac{r_3}{L^2} \end{bmatrix} \vec{r} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad \vec{r} = [1 \ 0 \ 0]$$

$$\begin{bmatrix} 0 & 2 \frac{L}{m} \frac{r_3}{L^2} & -\frac{R}{L} \end{bmatrix} \vec{r} = \vec{r}$$

Dengan menggunakan parameter berikut :

| Parameter | satuan | nilai |
|-------------|-------------------|--------|
| m | kg | 0.30 |
| g | $\frac{kg}{s^2}$ | 9.8 |
| r | Ohms (Ω) | 18 |
| l | H | 0.78 |
| c | | 0.0001 |
| \vec{r}_1 | m | 0.012 |
| \vec{r}_2 | m/s | 0 |
| \vec{r}_3 | A | 0.5 |

Tabel 3.1 Tabel parameter pemodelan

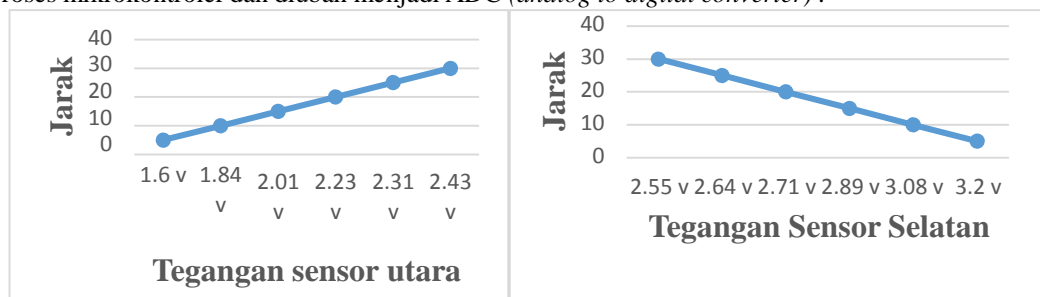
Dari pemodelan diatas di dapatkan fungsi transfer dengan software Matlab, berikut fungsi transfernya :

$$\vec{r} = \frac{-6.154 \vec{r}^7}{\vec{r}^8 + 23.08 \vec{r}^9 - 1.44 \vec{r}^9 \vec{r} - 323 \vec{r}^8}$$

4. Pengujian dan analisa

4.1 Pengujian Nilai Data sensor Terhadap Jarak

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui tegangan yang di keluarkan oleh sensor hall effect (analog read) untuk selanjutnya diproses mikrokontroler dan diubah menjadi ADC (*analog to digital converter*).



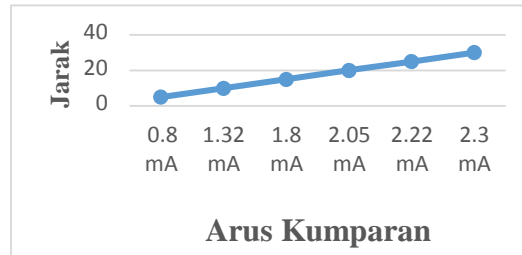
Gambar 4.1 Tegangan Sensor utara Terhadap Jarak dan Tegangan Sensor Selatan Terhadap Jarak

Dari hasil pengujian ini diperoleh dua perbandingan yaitu Vsensor selatan dan Vsensor utara , Ketika jarak semakin jauh maka tegangan sensor selatan semakin kecil di jelaskan pada gambar 4.1 karena pembacaan tegangan keluaran sensor dimulai dari tegangan maksimal oleh karena itu hasilnya teganganya akan semakin kecil.

Sebaliknya Jika jarak semakin jauh maka tegangan sensor utara semakin besar di tunjukan pada gambar 4.2 karena pembacaan sensor di mulai dari tegangan minimal oleh karena itu hasil tegangan semakin besar.

4.2 Pengujian Arus kumparan Terhadap jarak

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui arus yang mengalir dikumparan untuk mengaktifkan elektromagnet. Dengan jarak yang di tentukan.

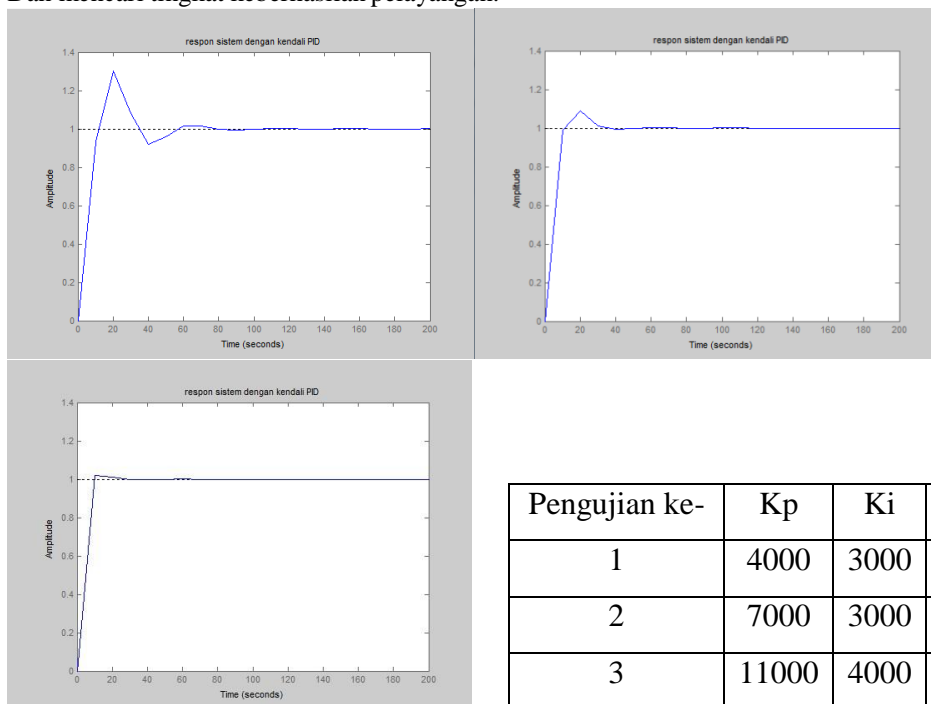


Gambar 4.2 Arus Kumparan Terhadap Jarak

Dari hasil pengujian ini jarak sangat berpengaruh pada arus yang ada kumparan , semakin jauh jarak yang ditentukan maka semakin besar pula arus yang di butuhkan untuk mengaktifkan electromagnet

4.3 Pengujian Pid Dan Tingkat Keberhasilanya

Tujuan dari pengujian ini adalah mengetahui respon sistem dari nilai PID yang di dapatkan dari *trial and error*. Dan mencari tingkat keberhasilan pelayangan.



Gambar 4.3 Hasil Pengujian dan tingkat keberhasilan pelayangan

Dari hasil pengujian ini terdapat 3 respon sistem berbeda. Dengan nilai Ki:4000, Kp:3000 dan Kd:2000 *risetime* sudah cepat namun masih ada *overshoot* . Dengan nilai Ki:7000, Kp:3000 dan Kd:4000 *risetime* sudah cepat namun masih ada sedikit *overshoot* . Dengan nilai Ki:7000, Kp:3000 dan Kd:6000 *risetime* cepat dan *overshoot* berkurang. Kemudian pengujian tingkat keberhasilanya berdasarkan lamanya pelayangan dalam waktu 30 detik dan didapatkan perestase keberhasilan paling konsisten yaitu pada pengujian ke 3 sebesar 92%.

5. Kesimpulan dan saran

5.1 Kesimpulan

Dari hasil pengujian dan analisa pada sistem *magnetic levitation* menggunakan metode PID berbasis mikrokontroler dapat ditarik beberapa kesimpulan ,berikut kesimpulanya :

1. Pengendalian PID dapat di aplikasikan pada sistem *magnetic levitation*.
2. Tingkat keberhasilan dalam pengujian kesetabilan dengan waktu lebih dari 30 detik sebesar 92%.
3. Massa objek yang dilayangkan berkisar antara 30gram dengan kumparan sebanyak 2500.

4. Nilai parameter PID dengan *trial and error* yang didapat adalah K_p : 11000, K_d :6000 dan K_i : 4000.

5.2 Saran .

Hasil penelitian yang telah di realisasikan ini masih belum sempurna . Oleh karena itu, ada beberapa hal yang dapat dikembangkan untuk mencapai hasil maksimal. Saran untuk peneliti selanjutnya yaitu sebagai berikut :

1. Penggunaan sensor hall effect pada sistem ini memiliki keterbatasan , mulai dari batas jarak dan rentan terpengaruh noise. Sebaiknya untuk penelitian selanjutnya menggunakan sensor yang lebih presisi.
2. Kumparan dibuat lebih rapat dan rapi agar efektif dalam menghasilkan medan magnet
3. Inti besi yang digunakan lebih baik jangan mudah berkarat.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ogata, Katsuhiko. 2010. *Modern Control Engineering fifth edition*. New York: PrenticeHall,Inc.
- [2] Chapter II [http://repository.usu.ac.id/bitstream/123456789/26544/4/Chapter% 20II.pdf](http://repository.usu.ac.id/bitstream/123456789/26544/4/Chapter%20II.pdf), diakses 14 Mei 2016.
- [3] Purbaningrat, Rahmat . 2008. *Perancangan dan Pembuatan Perangkat Keras Steel Ball Magnetic Levitation*, Institut Teknologi Bandung.
- [4] <http://www.elektronikabersama.web.id/2011/10/sensor-medan-magnet-sensor-ugn3503/> diakses 12 Agustus 2016.
- [5] <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno> diakses 18 Maret 2016
- [6] Royyan, M.. 2015. “*Implementation of Kalman Filter and PID Controller for Inverted Pendulum Robot*”. Bandung. Telkom University.
- [7] www.societyfroboots.com/PWM diakses 9 Maret 2016
- [8] [http://rodjoelgroup.blogspot.com/2012/03/daftar-kemampuan-kawat-email dilalui.html](http://rodjoelgroup.blogspot.com/2012/03/daftar-kemampuan-kawat-email-dilalui.html) diakses 10 Mei 2016.
- [9] Eng. Khalid Abdelhafiz Ali. *Modelling, Identification of Amagnetic Levitation CE152*, Al-Aqsa University, 2010.
- [10] Wong T. “Design of a magnetic levitation system -an undergraduate project”, *IEEE Transactions onEducation*, 29, 1986, 196-200.
- [11] Wodson, H., and Melcher, j., *ElectromechanicallyDynamics-Part 1: Discrete Systems* (New York: Wiley)1968
- [12] <http://www.reidb.net/MagLevigator.html> diakses 1 Januari 2016.